

**El uso de fotocélulas de haz simple y doble para medir la velocidad en carreras:
DSD Laser System®**

**The use of single- and dual-beam photocells to measure the sprint time:
DSD Laser System®**

Juan García-López, Juan Carlos Morante, Ana Carmen Ogueta-Alday

Universidad de León

Javier González-Lázaro

Comité Paralímpico Español

José Antonio Rodríguez-Marroyo, Gerardo Villa

Universidad de León

Resumen

El objetivo del estudio fue analizar la influencia de la tecnología de las fotocélulas en el registro de tiempo y su fiabilidad durante de carreras de velocidad de corta distancia. Participaron 25 estudiantes (20.5 ± 0.5 años; 1.78 ± 0.02 m; 77.5 ± 1.8 kg) que fueron evaluados en 3 días (2 de familiarización y 1 de test). Se registraron aleatoriamente 3 carreras de aceleración y 3 velocidad lanzada, cronometradas simultáneamente a los 5, 10 y 15 m por dos sistemas de fotocélulas DSD Laser System®: haz simple y doble haz. El tipo de fotocélulas utilizadas influyó en el tiempo de carrera ($F=11.92$ y $p<0.001$) y su fiabilidad ($F=14.52$ y $p<0.001$). En la carrera de aceleración el haz simple sobrestimó ~ 0.02 s el tiempo respecto al doble haz ($F=42.95$ y $p<0.001$), obteniéndose registros fiables ($CCI > 0.80$) a los 10 y 5 m, respectivamente. En la carrera lanzada ambos sistemas midieron prácticamente igual (diferencias de ~ 0.005 s), obteniendo registros fiables a los 15 y 10 m, respectivamente. En conclusión, en carreras de aceleración la distancia mínima a registrar con haz simple debe ser de 10 m, y de 5 m con haz doble, mientras que en carreras lanzadas deberían utilizarse unas distancias mínimas de 15 y 10 m, respectivamente. Futuros estudios deberían analizar la distancia óptima a la primera fotocélula en las carreras de aceleración, para aumentar la fiabilidad de la medición y facilitar la comparación entre registros de diferentes estudios.

Palabras clave: fotocélulas; carreras de velocidad; aceleración; fiabilidad

Abstract

The purpose was to analyze the influence of the timing gates' technology on both running time performance and its reliability during short sprint distances. Twenty-five physical students participated (20.5 ± 0.5 yr; 1.78 ± 0.02 m; 77.5 ± 1.8 kg), whose were evaluated during 3 separate days (2 familiarization sessions and 1 testing session). Three standing-start and 3 flying-start runs were randomized and simultaneously registered at 5, 10 and 15 m by two timing gates DSD Laser System®: single- and dual-beam. The type of timing gates affected the performance ($F=11.92$ y $p<0.001$) and the reliability ($F=14.52$ y $p<0.001$). During the standing-start runs, the single-beam system overestimated (~ 0.02 s) the performance with respect to the dual-beam one ($F=42.95$ y $p<0.001$), and the reliability was acceptable ($CCI>0.80$) at the distances of 10 and 5 m, respectively. During the flying-start runs, both systems obtained a very similar registry (differences of ~ 0.005 s), and the reliability was acceptable at the distances of 15 and 10 m, respectively. In conclusion, during the standing-start runs the minimum distance to registry the performance with a single-beam system should be 10 m, and 5 m with a dual-beam system. During the flying-start runs these distances should be 15 and 10 m, respectively. Further studies should analyze the optimal distance to the first timing gate during the standing-start runs, in order to improve the reliability and to compare the performances which were obtained in different studies.

Key words: timing gates; sprint; standing-start runs; reliability.

Correspondencia/correspondence: Juan García-López

Universidad de León. España

E-mail: juan.garcia@unileon.es

Introducción

La habilidad para acelerar en distancias cortas es importante en varias actividades como los deportes de equipo, donde los jugadores deben realizar carreras de aceleración partiendo desde posición de pie (Frost y col., 2008; Newton y col., 2008). Además, la habilidad para conseguir una elevada velocidad máxima es importante en otros deportes como el atletismo, donde los atletas realizan carreras lanzadas en sus entrenamientos con el objetivo de conseguir una mayor velocidad (Mero and Komi, 1985; Paradisis y Cooke, 2006; Alcaraz y col., 2008). Comparar el rendimiento de la carrera (tiempo empleado) entre diferentes estudios que utilizan carreras de aceleración es muy difícil (Cronin y col., 2008), incluso aunque el nivel de los sujetos analizados y la distancia de valoración sean muy similares (Duthie y col., 2006). Esto podría deberse a una inadecuada estandarización de estos protocolos de valoración, comparados con otros protocolos utilizados para medir el rendimiento anaeróbico de los deportistas (ej. salto vertical, test de Wingate...). Además, muchos estudios no detallan suficientemente la metodología utilizada en sus protocolos (ej. tipo de fotocélulas, alturas de colocación, distancia hasta la primera fotocélula...) que afecta claramente a la medida obtenida (Cronin y col., 2008).

Afortunadamente, estudios recientes han demostrado la influencia de la altura de las fotocélulas y de la colocación en la salida sobre el tiempo de la carrera de aceleración (Duthie y col., 2006; Croning y col., 2007 y 2008; Frost y col., 2008). De esta forma sabemos que el registro de tiempo es menor (0.07 y 0.10 s en 10 y 20 m, respectivamente) si las fotocélulas se colocan más bajas, y también si se utiliza una salida con un pie ligeramente adelantado (salida en "Split") respecto a la salida con los dos pies paralelos (0.10 y 0.12 s en 5 y 10 m, respectivamente) (Cronin y col., 2007 y 2008; Frost y col., 2008). Sin embargo, la influencia de la distancia desde la línea de salida hasta la primera fotocélula (0, 0.3, 0.5, 1.0 m) y del tipo de fotocélula utilizada (haz simple, doble o triple) en el rendimiento de la carrera y su fiabilidad todavía no ha sido investigado. Sabemos que el cronometraje puede llevarse a cabo mediante fotocélulas de haz simple, doble o triple (Cronin y col., 2008). Un estudio (Yeadon y col., 1999) ha analizado la influencia de la tecnología de las fotocélulas en la precisión y fiabilidad durante carreras lanzadas (de 5 a 9 m·s⁻¹). Sin embargo, no se han encontrado estudios que analicen la influencia de estos dos tipos de fotocélulas en la precisión y fiabilidad de las mediciones llevadas a cabo en carreras de aceleración.

Además del tiempo de la carrera, su fiabilidad es muy importante para detectar la influencia de variables independientes (ej. género, nivel de rendimiento, entrenamiento o fatiga) en la capacidad de acelerar o conseguir una alta velocidad (Currell y Jeukendrup, 2008). Yeadon y col. (1999) mostraron que un sistema de fotocélulas de doble haz tenía mayor precisión y fiabilidad que uno de haz simple durante la carrera lanzada de corta distancia (de 1.2 a 2.4 m), y que la fiabilidad mejoraba conforme la distancia de carrera aumentaba. Algunos estudios posteriores han utilizado sistemas de doble haz para medir carreras de aceleración, mostrando que la distancia de 5 m tiene peor fiabilidad que la de 10 m (Cronin y col., 2007; Gabbett y col., 2008). Sin embargo, ninguno tenía por objetivo analizar la influencia de la distancia de carrera en la fiabilidad, aunque uno de ellos encontró un coeficiente de variación mayor del 3% en la distancia de 5 m (Gabbett y col., 2008).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es analizar la influencia de la tecnología de las fotocélulas (haz simple y doble) en el registro de tiempo y su fiabilidad durante carreras de velocidad (aceleración y lanzada) de corta distancia (5, 10 y 15 m).

Métodos

Participantes

Veinticinco estudiantes de educación física participaron en el presente estudio (20.5 ± 0.5 años; 1.78 ± 0.02 m; 77.5 ± 1.8 kg). Todos ellos eran varones sanos y no competían en ningún deporte. Ninguno de ellos había sido evaluado previamente con fotocélulas antes de participar en el estudio. Fueron informados de los riesgos y beneficios del estudio, dando su consentimiento por escrito antes de participar en el mismo. El protocolo de valoración fue diseñado conforme a la Conferencia de Helsinki para investigación con humanos (Williams, 2008), y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad donde se llevó a cabo el estudio.

Procedimientos

Los estudiantes fueron evaluados en tres días diferentes con un intervalo de una semana entre cada uno de ellos. Las dos primeras sesiones tuvieron el objetivo de familiarización con el protocolo e instrumental, mientras que en la tercera sesión se realizó la medición que será analizada en el presente trabajo. En las dos primeras sesiones los participantes realizaron el mismo protocolo, que fue cronometrado sólo con el sistema de haz simple y para la distancia completa de 15 m. En la tercera sesión los tiempos fueron registrados simultáneamente con un sistema de fotocélulas de haz simple y otro sistema de doble haz cada 5 m de distancia. En cada sesión los participantes realizaron 6 carreras de velocidad de 15 m de distancia a la máxima intensidad, en un orden aleatorio: 3 carreras se iniciaron desde una posición de parado con el objetivo de medir la aceleración (carrera de aceleración) y 3 carreras se iniciaron con una fase previa de aceleración no cronometrada (carrera lanzada). El tiempo de descanso entre cada repetición de un mismo tipo de carrera fue de 2 minutos (Croning y col., 2007 y 2008), y de 5 minutos entre las series de cada modalidad de carrera. Las mediciones fueron precedidas por un calentamiento que consistía en 5 minutos de carrera libre, 6 minutos de estiramientos estáticos y movilidad articular, y 9 minutos de ejercicios de salto y simulación de carreras de velocidad alternos con estiramientos balísticos. Todas las sesiones de valoración fueron realizadas en la misma franja horaria del día (de 17 a 21 h) y en la misma pista deportiva interior (30 m de anchura y 50 m de longitud) para evitar la influencia de las condiciones atmosféricas (temperatura, viento y humedad). La longitud de la pista deportiva fue dividida en tres zonas: aceleración (20 m), área de test (15 m) y deceleración (15 m). El pavimento de la pista era artificial, compuesto por dos capas de poliuretano de diferente densidad, y todos los participantes utilizaron el calzado deseado, que pudieron probar durante la primera y segunda sesión.

Sistemas de fotocélulas. Los dos sistemas de fotocélulas utilizados en el presente estudio constaban de la misma tecnología (patente ES 2 239 890 A1), permitiendo el cronometraje con configuraciones de haz simple y doble haz (DSD Laser System, León, España). El sistema básicamente consistía en dos módulos, emisor y receptor de luz láser, separados por una distancia de 3.0 m (Figura 1). El cronometraje con el haz simple comenzaba cuando el haz de luz láser era interrumpido, enviando teleméricamente la señal a una unidad de adquisición de datos que la introducía en un ordenador personal a través de un puerto serie (RS232). Los módulos que actuaban como sistema de doble haz se interconectaron mediante un mecanismo gen-lock (conexión DHL), y se colocaron en la parte más baja y más alta de cada columna. El cronometraje con el haz doble comenzaba cuando ambos haces de luz láser (inferior y superior) eran interrumpidos simultáneamente, enviando, tal y como se ha descrito, teleméricamente la señal hasta la unidad de adquisición de datos. El envío telemétrico de datos se llevó a cabo mediante cuatro códigos de transmisión seleccionables

que se configuraban en un selector ubicado en los módulos receptores de haz láser. Estas cuatro posibilidades de codificación de la señal telemétrica permitieron evitar posibles interferencias que pudieran producirse con otros dispositivos o tecnologías que funcionasen de manera simultánea. En total, doce parejas emisor-receptor fueron utilizadas en el presente trabajo, las cuales se colocaron en cuatro columnas enfrentadas entre sí a los 0, 5, 10 y 15 m. Cada columna consistía en tres módulos alineados a diferentes alturas. El módulo más bajo se montó a una altura de 0.90 m, alrededor de las caderas, y los módulos del medio y superior se montaron 0.20 m más altos (a 1.10 y 1.30 m, respectivamente), de acuerdo con las recomendaciones de estudios previos (Yeadon y col., 1999). Dos ordenadores portátiles (Pentium 1.86 GHz, HP Compaq nx8220) grababan simultáneamente los tiempos de carrera registrados mediante los sistemas de haz simple y doble haz, utilizando el software SportSPEED-v2.0, que ha sido validado para una precisión de 500 Hz ó 0.002 s (García-López y col., 2002). Este software es una versión modificada del software SportJump-v1.0, que ha sido validado en estudios previos (García-López y col., 2005).

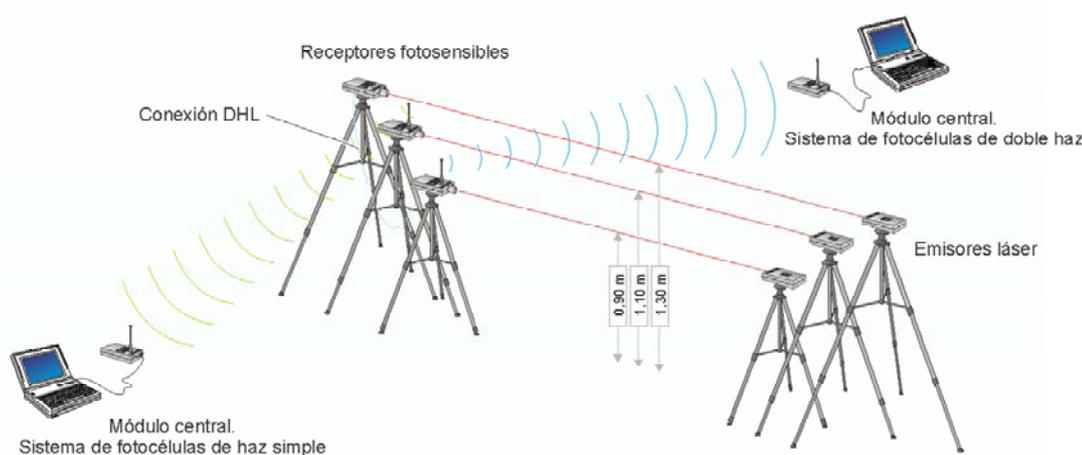


Figura 1.- Sistemas de fotocélulas de haz simple y doble haz (DSD Laser System, León, España) y módulos centrales conectados a un ordenador portátil con el software SportSPEED-v2.0. Alturas de las fotocélulas: 1.10 m (haz simple) y 0.90-1.30 m (doble haz).

Carreras de aceleración. Los participantes utilizaron una salida convencional de tres apoyos con dos pies y una mano (Figura 2a) similar a la descrita en estudios previos (Duthie et al., 2006; Ebben y col., 2008). La salida consistía en colocar una mano en una línea situada a 5 m de la primera columna de fotocélulas. Esta distancia tan amplia fue seleccionada para evitar el posible efecto de distancias más cortas en la fiabilidad del test (Frost y col., 2008). Los estudiantes comenzaban la carrera de forma libre, y corrían a la máxima velocidad hasta sobrepasar la última columna de fotocélulas (cronometraje de 15 m). Después podían decelerar en los últimos 15 m de pista, al final de la cual se colocó una colchoneta “quitamiedos” de gimnasia contra la pared (3.0×2.0×0.5 m).

Carreras lanzadas (velocidad máxima). Los participantes realizaron una carrera libre con el objetivo de conseguir la máxima velocidad en el tramo de 15 m cronometrado o área de test (Figura 2b). Para ello podían aprovechar los 20 m de aceleración o incluso la anchura de la pista para acelerar previamente (otros 30 m). Durante las dos sesiones de familiarización los participantes obtuvieron información sobre la distancia de aceleración óptima para conseguir su velocidad máxima en el tramo deseado. La fase de deceleración se llevó a cabo de la misma forma que se ha descrito anteriormente.

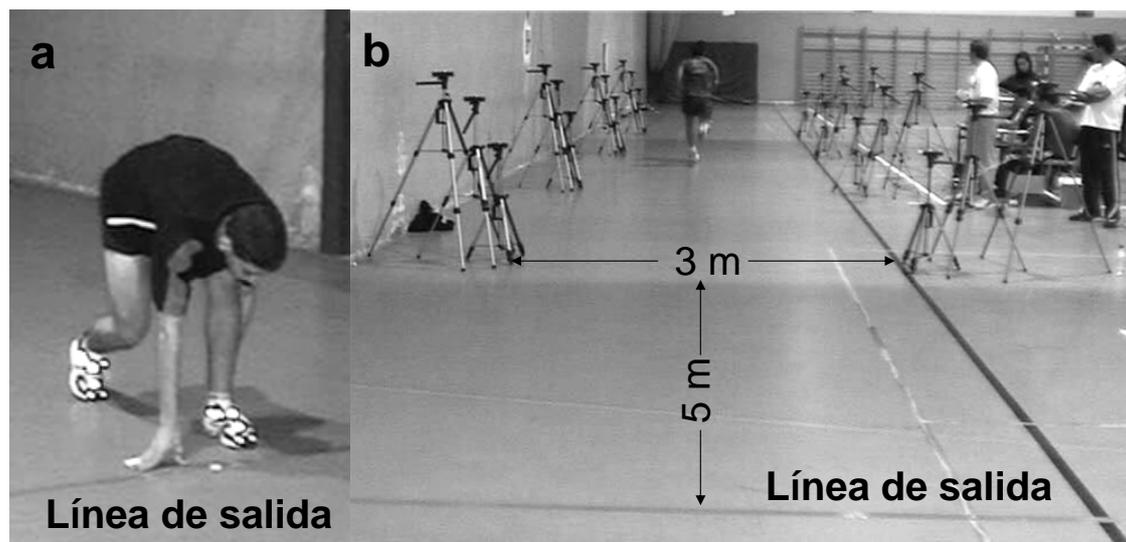


Figura 2.-Protocolos utilizados durante la carrera de aceleración (a) y de velocidad máxima o carrera lanzada (b).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el software SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). Los resultados se presentan como valores medios y desviación estándar de la media (Media±DS). En consonancia con estudios previos (Croning y col., 2007 y 2008), la fiabilidad test-retest de los tres ensayos fue evaluada mediante los coeficientes de variación ($CV = DS \times 100 / Media$) y el coeficiente de correlación intraclase (CCI). El test de Kolmogorov-Smirnov se aplicó para comprobar la distribución normal de las variables analizadas en el estudio. Las correlaciones se obtuvieron mediante el test de Pearson. También se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para medidas repetidas, con un análisis *post-hoc* de Newman-Keuls, para comparar los registros obtenidos por los sistemas de haz simple y doble haz, así como los CV de estos sistemas en las diferentes distancias registradas (5-, 10- y 15-m). El mínimo nivel de significación admitido en el presente trabajo fue de $p < 0.05$.

Resultados

El tipo de fotocélulas utilizadas influyó en el tiempo de carrera registrado ($F = 11.92$ y $p < 0.001$) y en la reproducibilidad (CV) del mismo ($F = 14.52$ y $p < 0.001$). El CV no dependió ($F = 1.13$ y $p = 0.29$) del tipo de carrera analizado (aceleración *vs* lanzada), pero sí de la distancia registrada ($F = 15.30$ y $p < 0.001$), siendo mayor en 5 m ($p < 0.001$) que en 10 y 15 m, sin diferencias significativas entre estas dos distancias. En un análisis global de todas las distancias (5, 10 y 15 m) y modalidades de carrera (aceleración *vs* lanzada) las correlación entre ambos sistemas (haz simple *vs* doble haz) fue muy significativa ($r = 0.999$ y $p < 0.001$). Sin embargo, las correlaciones parciales en 5 m de aceleración, 5 m lanzados y 10 m de aceleración fueron menores de 0.9 (Figura 3), siendo mayores a mayor distancia registrada, y en la carrera lanzada que en la carrera de aceleración.

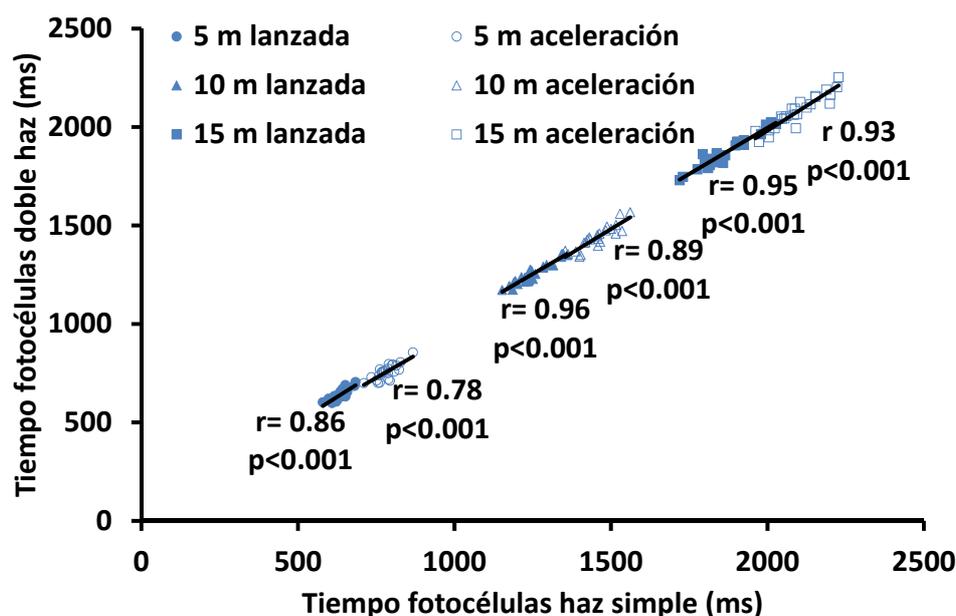


Figura 3.-Correlaciones parciales entre los sistemas de 1 haz y 2 haces en función de la distancia (5, 10 y 15 m) y del tipo de carrera analizada (aceleración y lanzada).

En la carrera de aceleración el tipo de fotocélulas afectó al tiempo de carrera ($F=42.95$ y $p<0.001$), siendo menor en las fotocélulas de doble haz que en fotocélulas de haz simple (~ 0.02 s) en todas las distancias analizadas (Tabla 1). La reproducibilidad fue mejor en las fotocélulas de doble haz, observándose una tendencia a que el CV fuera menor ($F=3.52$ y $p=0.06$) y el CCI mayor (Tabla 1). La distancia de carrera afectó la reproducibilidad de la medida (CV), tanto en las fotocélulas de haz simple ($F=4.85$ y $p<0.05$) como en las de doble haz ($F=4.14$ y $p<0.05$), observándose diferencias significativas entre el registro en 5 m y los registros a 10 y 15 m, sin diferencias entre estos últimos (Tabla 1).

Tabla 1.-Tiempo medio, coeficiente de variación (CV) y coeficiente de correlación intraclase (CCI) en la carrera de aceleración, en función de la distancia registrada (5, 10 y 15 m) y el tipo de fotocélula utilizada (haz simple y doble haz).

Distancia	CARRERA DE ACELERACIÓN					
	Fotocélulas de haz simple			Fotocélulas de doble haz		
	Tiempo (ms)	CV (%)	CCI	Tiempo (ms)	CV (%)	CCI
5 m	783±32	1.58±1.83	0.71	756±38*	1.29±1.58	0.84
10 m	1454±54	1.07±1.10†	0.80	1438±58*	0.95±0.95†	0.89
15 m	2096±76	0.88±0.77†	0.89	2077±83*	0.71±0.63†	0.95

* $p<0.01$, Diferencias significativas entre fotocélulas de haz simple y doble haz.

† $p<0.05$, Diferencias significativas respecto a la distancia de carrera de 5 m.

En la carrera lanzada (máxima velocidad) el tipo de fotocélulas afectó al tiempo de carrera ($F=6.29$ y $p<0.05$), siendo ligeramente mayor en las fotocélulas de doble haz que en las fotocélulas de haz simple (~ 0.005 s) en todas las distancias (Tabla 1). La reproducibilidad fue mejor en las fotocélulas de doble haz, porque el CV fue menor ($F=11.37$ y $p<0.001$) y el CCI mayor (Tabla 2). La distancia de carrera no afectó a la reproducibilidad de la medida (CV) en las fotocélulas de haz simple ($F=1.08$ y $p=0.35$), pero sí en las fotocélulas de doble haz ($F=12.43$ y $p<0.001$), observándose diferencias significativas entre el registro en 5 m y los registros a 10 y 15 m, sin diferencias entre estos últimos (Tabla 2).

Tabla 2.-Tiempo medio, coeficiente de variación (CV) y coeficiente de correlación intraclase (CCI) en la carrera de velocidad máxima (lanzada), en función de la distancia registrada (5, 10 y 15 m) y el tipo de fotocélula utilizada (haz simple y doble haz).

Distancia	CARRERA LANZADA					
	Fotocélulas de haz simple			Fotocélulas de doble haz		
	Tiempo (ms)	CV (%)	CCI	Tiempo (ms)	CV (%)	CCI
5 m	635±26	1.69±1.56	0.53	640±30	1.48±1.09	0.74
10 m	1251±57	1.51±1.12	0.71	1255±55	0.85±0.74*†	0.87
15 m	1855±84	1.33±0.85	0.81	1862±80	0.74±0.47*†	0.93

*p<0.01, Diferencias significativas entre fotocélulas de haz simple y doble haz.

†p<0.05, Diferencias significativas respecto a la distancia de carrera de 5 m.

Discusión

El principal hallazgo de este estudio ha sido demostrar que la tecnología de las fotocélulas (haz simple vs doble haz) afecta tanto a la medida de tiempo como a la fiabilidad del registro, no sólo en carreras lanzadas (Yeadon y col., 1999), sino también en carreras de aceleración. En estas últimas la tecnología de las fotocélulas afecta más al resultado de la medida (unos 0.02 segundos mayor con fotocélulas de haz simple que con fotocélulas de haz doble) que a su fiabilidad. Lo contrario ocurre con las carreras lanzadas, donde la fiabilidad se ve más afectada que la propia medida. Los valores registrados por ambos sistemas tendrían una buena correspondencia (Figura 3, $r > 0.90$) en distancias de 15 m para la carrera de aceleración y de 10 m para la carrera lanzada (Atkinson y Nevill, 1998). Teniendo en cuenta los métodos y técnicas de investigación son la base de la ciencia (Zatsiorsky y Fortney, 1993), futuros trabajos deberían tener en cuenta el sistema de fotocélulas utilizado y la distancia mínima a registrar para asegurar la fiabilidad y validez del registro.

Los valores de CCI encontrados en las carreras de aceleración con las fotocélulas de doble haz (Tabla 1) son muy similares a los mostrados en estudios previos (Gabbet y col., 2008) que analizaron esta variable en distancias de 5, 10 y 20 m (CCI= 0.84, 0.87 y 0.96, respectivamente), y superior a otros (CCI= 0.81) que lo analizaron sólo en 10 m (Mirkov y col., 2008). Lo mismo ocurre con el CV, que a los 10 m es ~ 1%, comparable al valor encontrado en estudios previos que cronometraron esta distancia con fotocélulas de doble haz (Duthie y col., 2006; Cronin y col., 2008). No obstante, es algo inferior al valor entre 1.2-3.2% encontrado en otros trabajos (Cronin y col., 2007; Mirkov y col., 2008), lo cual sería justificable por la familiarización de los participantes con el protocolo (3 sesiones de evaluación) y por el uso de fotocélulas de doble haz en vez de haz simple (Mirkov y col., 2008). Son frecuentes los trabajos que utilizan fotocélulas de haz simple en distancias de 5 m, encontrando mejoras inferiores a 0.03 s ó 1.5% del tiempo en esa distancia, tras un entrenamiento con feedback biomecánico (Mendoza y Schöllhorn, 1993) o después de suplementar a jugadores de fútbol con creatina (Mujika y col., 2000; Izquierdo y col., 2002). Las mejoras mencionadas son bastante similares a la propia variabilidad de la técnica (CV= 1.58±1.83%). Igualmente la fiabilidad del sistema de haz simple en distancias de 5 m (CCI < 0.80) puede ser considerada como no suficiente (Kramer y Feinstein, 1981), motivo por el que sería recomendable no utilizarlo en estas distancia.

La diferencia encontrada entre ambos sistemas significa que las fotocélulas de haz simple sobrestiman el tiempo de carrera en ~0.02 s, y debe ser tenida en cuenta en futuros trabajos que utilicen indistintamente ambas tecnologías. La diferencia se debe a que durante una carrera de aceleración el tronco va consiguiendo una mayor verticalidad conforme aumenta la distancia (Cronin y col., 2007), de manera que está más inclinado en la primera columna de fotocélulas (0 m) que en la última (15 m). Esto provoca que el sistema haz simple (fotocélula

a 1.10 m) se corte antes que el sistema de doble haz (fotocélulas a 0.90 y 1.30 m). Esta diferencia ya ha sido descrita en estudios previos (Cronin y col., 2007 y 2008), y ha sido justificada porque las piernas llegan más tarde que el tronco a las fotocélulas, disminuyendo las diferencias conforme el tronco se posiciona más vertical. Futuros estudios deberían analizarlo en carreras cuya primera columna de fotocélulas se encuentre antes de los 5 m, ya que posiblemente las diferencias de 0.02 podrían ser algo mayores. Una limitación del presente trabajo ha sido colocar la primera columna de fotocélulas a tanta distancia (5 m). Futuros trabajos deberían analizar la influencia de la distancia hasta la primera columna de fotocélulas en la fiabilidad y validez de la medida durante las carreras de aceleración.

Estrictamente sólo encontramos dos trabajos con los que comparar la fiabilidad y validez de la carrera lanzada (Tabla 2). En el primero de ellos (Yeadon y col., 1999) el CV fue mayor (7.0% a 1.2 m y 2.6% a 2.4 m de distancia), porque utilizó distancias de medición más cortas. En el segundo (Mirkov y col., 2008) el CCI en la carrera lanzada de 20 m fue de 0.93, similar al encontrado en el presente estudio para el registro con fotocélulas de doble haz en 15 m, y superior al mostrado en fotocélulas de haz simple. Esto pone de manifiesto que las mediciones de carrera lanzada con haz simple muestran una baja fiabilidad, que hace que sólo la distancia de 15 m sea consistente (CCI > 0.80), y de 10 m si se hace referencia a las fotocélulas de doble haz (Kramer y Feinstein, 1981).

La pequeña diferencia de ~0.005 s encontrada entre ambos tipos de fotocélulas no fue observada en estudios previos (Yeadon y col., 1999). Esto puede deberse a que los participantes, en un intento de realizar un mejor registro de velocidad máxima, ejecutaron un gesto de “llegada” (inclinación del tronco hacia delante) al tiempo que atravesaban la última columna de fotocélulas (15 m). Entonces, el tronco pasaría más vertical por la primera columna de fotocélulas (0 m) que por la última, provocando el efecto contrario al que se ha descrito para las carreras de aceleración (sobrestimación del tiempo de carrera por parte de las fotocélulas de doble haz, que registrarían el corte más tarde que las de haz simple). Pensamos que el gesto de “llegada” no provocaría tanta inclinación de tronco como el característico durante la fase de aceleración, motivo por el cual las fotocélulas de haz simple sobrestiman el tiempo de las carreras de aceleración, tal y como se ha descrito anteriormente, y subestiman ligeramente el tiempo de las carreras lanzadas. Una limitación del presente trabajo ha sido utilizar sólo 20 m de aceleración durante las carreras lanzadas, cuando posiblemente la velocidad máxima en estudiantes de educación física se obtiene entre los 30-40 m de carrera (Morin y Sève, 2011). No fue posible utilizar una pista deportiva interior de más de 50 m de longitud, cuestión que sí deberían intentar futuros estudios. Pensamos que esto afectó al valor absoluto de velocidad máxima, pero no a las diferencias entre ambos sistemas (haz doble vs haz simple).

En ambos tipos de carreras (aceleración y lanzada) la fiabilidad (CV y CCI) mejora conforme aumenta la distancia registrada de 5 a 10 y 15 m (Tablas 1 y 2). Esto ya ha sido descrito en estudios previos y puede ser debido a dos factores (Cronin y col., 2007 y 2008): 1-La posición del cuerpo puede ser más variable en una distancia más corta, siendo más consistente conforme se coloca más erguido; 2-El mismo error en una distancia más corta supone un mayor porcentaje de variación (CV). En el presente trabajo se seleccionaron alturas estandarizadas para colocar las barreras de fotocélulas (0.90, 1.10 y 1.30 m), tal y como ya hicieran estudios previos que investigaron sobre el uso de estos instrumentos de análisis (Duthie y col., 2006; Croning y col., 2007 y 2008; Frost y col., 2008). Sin embargo, es necesario resaltar que para la medición individualizada de un sujeto cuando no se dispone de un sistema de doble haz se recomienda utilizar la altura de la cadera (Yeadon y col., 1999). Siguiendo esta recomendación, con un sistema de doble haz, el punto medio entre ambos

haces debería estar a la altura aproximada de la cadera (~ 90 -100 cm del suelo). El problema durante las carreras de aceleración es que la altura de la cadera es menor al inicio que al final de las mismas. Futuros trabajos deberían investigar si sería aconsejable utilizar una altura menor en la primera barrera respecto a la segunda barrera de fotocélulas.

Conclusiones

La tecnología de las fotocélulas (haz simple vs doble haz) utilizada para medir carreras de velocidad (aceleración y lanzada) afecta al rendimiento de las mismas, suponiendo una sobrestimación de ~20 milisegundos en carreras de aceleración por parte del sistema de haz simple respecto al doble haz, sin prácticamente diferencias entre ambos sistemas (~5 milisegundos cuando se simula la “llegada”) en carreras de velocidad lanzada.

Al cronometrar carreras de aceleración, la distancia mínima a registrar con un sistema de fotocélulas de haz simple sería de 10 m, y 5 m con un sistema de haz doble. En las carreras lanzadas, el sistema de haz simple debería utilizarse en una distancia mínima de 15 m, y el de haz doble en una distancia mínima de 10 m.

Futuros trabajos deberían colocar la primera columna de fotocélulas más cerca de 5 m, porque posiblemente esto aumente la diferencia entre ambos sistemas en las carreras de aceleración. Igualmente deberían profundizar en la distancia óptima hasta la primera columna de fotocélulas en las carreras de aceleración, con el objetivo de aumentar la fiabilidad de la medición y facilitar la comparación entre registros de diferentes estudios. Para llevar a cabo futuros estudios que pretendan investigar sobre variables que afecten al registro de la velocidad máxima con células fotoeléctricas sería recomendable disponer de una instalación deportiva cubierta de mayor longitud a la utilizada en el presente trabajo.

Referencias

- Alcaraz, P.E.; Palao, J.M.; Elvira, J.L.; Linthorne, N.P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3): 890-897.
- Atkinson, G.; Nevill, A. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sportsmedicine. *Sports Medicine*, 26(4): 217-238.
- Cronin, J.B.; Green, J.P.; Levin, M.E.; Brughelli, G.T.; Frost, D.M. (2007). Effect of starting stance on initial spring performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3): 990-992.
- Cronin, J.B.; Templeton, R.L. (2008). Timing light height affects sprint times. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1): 318-320.
- Currell, K.; Jeukendrup, A.E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, 38(4): 297-316.
- Duthie, G.M.; Pyne, D.B.; Ross, A.A.; Livingstone, S.G.; Hooper, S.L. (2006). The reliability of ten-meter sprint time using different starting techniques. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2): 246-251.
- Ebben, W.P.; Davies, J.A.; Clewien, R.W. (2008). Effect of the degree of hill slope on acute downhill running velocity and acceleration. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3): 898-902.
- Frost, D.M.; Cronin, J.B.; Levin, G. (2008). Stepping backward can improve sprint performance over short distances. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3): 918-922.

- Gabbett, T.J.; Kelly, J.N.; Sheppard, J.M. (2008). Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1): 174-181.
- García-López, J.; González, J.; Rodríguez, J. A.; Morante, J. C.; Villa, J. G. (2002). Validación y aplicación de un nuevo sistema de fotocélulas: DSD Láser System. En *Llibre de les actes del cinqué congrés de ciències de l'esport, l'educació física i la recreació de l'INEFC-Lleida* (pp. 583-595). Lleida: INEF de Catalunya, Centre de Lleida.
- García-López, J.; Peleteiro, J.; Rodríguez-Marroyo, J.A.; Morante J.C.; Herrero, J.A.; Villa, J.G. (2005). The validation of a new method that measures contact and flight times during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 26(4): 294-302.
- Izquierdo, M.; Ibañez, J.; González-Badillo, J.J.; Gorostiaga, E.M. (2002). Effects of creatine supplementation on muscle power, endurance, and sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34(2): 332-343.
- Kramer, M.S.; Feinstein, A.R. (1981). Clinical biostatistics LIV. The biostatistics of concordance. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 29(1):111-123. 1981.
- Mendoza, L.; Schöllhorn, W. (1993) Training of the start technique with biomechanical feedback. *Journal of Sports Sciences*, 11(1): 25-29.
- Mero, A.; Komi, P.V. (1985). Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1(3): 240-252
- Mirkov, D.M.; Nedeljkovic, A.; Kukolj, M.; Ugarkovic, D.; Jaric, S. (2008). Evaluation of reliability of soccer-specific field tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4): 1046–1050.
- Morin, J.B.; Sève, P. (2011). Sprint running performance: comparison between treadmill and field conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 111(8): 1695-1703.
- Mujika, I.; Padilla, S.; Ibañez, J.; Izquierdo, M.; Gorostiaga, E. (2000). Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(2): 518–525.
- Newton, R.U.; Laursen, P.B.; Young, W. (2008). Clinical Exercise Testing and Assessment of Athletes. En M. Schwellnus (Ed.). *Olympic Textbook of Medicine in Sport*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Paradisis, G.P.; Cooke, C.B. (2006). The effects of sprint running training on sloping surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4): 767–777.
- Williams, J.R. (2008). The Declaration of Helsinki and public health. *Bulletin of the World Health Organization*, 86(8):650-652.
- Yeadon, M.R.; Kato, T.; Kerwin, D.G. (1999). Measuring running speed using photocells. 17(3): 249-257.
- Zatsiorsky, V.; Fortney, V.L. (1993). Sport biomechanics 2000. *Journal of Sports Sciences*, 11(4): 279-283.